

# Optimierung der Matrixschätzung durch Elimination redundanter Informationen

**Prof. Dr.-Ing. Bernhard Friedrich**

Institut für Verkehr und Stadtbauwesen, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Tel. +49-(0)531-3917920, Fax. +49-(0)531-3918100, E-Mail: [friedrich@tu-braunschweig.de](mailto:friedrich@tu-braunschweig.de)

**Dr.-Ing. Yun-Pang Wang**

Institut für Verkehrssystemtechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Tel. +49-(0)30-67055213, Fax. +49-(0)30-67055291, E-Mail: [Yun-Pang.Wang@dlr.de](mailto:Yun-Pang.Wang@dlr.de)

## Kurzfassung

Mit den zunehmenden Möglichkeiten der automatischen Verkehrsdatenerfassung stellt sich die Frage, welchen Einfluss die Kenntnis von Abbiegeströmen und daraus folgende redundante Informationen auf die Schätzung von Herkunft-/ Zielbeziehungen haben und wie mögliche negative Effekte auf die Güte der Schätzung bei bestehenden Erfassungsstellen vermieden werden können. Deshalb wurde in dieser Arbeit vor allem der Einfluss redundanter Informationen analysiert. Ein geeignetes Eliminationsverfahren (MERI) wurde entwickelt. Es wurde nachgewiesen, dass die negative Auswirkung redundanter Informationen im Informations-Minimierungs-Modell (IM-Modell) durch MERI beseitigt werden konnte und die Schätzungsgüte besser als die des Verbesserten IM-Modells (VIM-Modell) ist.

## 1 Einleitung

Planungsaufgaben wie auch betriebliche Aufgaben im Verkehrswesen benötigen als Grundlage Informationen über den Verkehrszustand. Gerade für Verkehrsmanagementsysteme ist es wichtig, kontinuierlich auf aktuelle und zeitlich fein differenzierte Daten zurückgreifen zu können. Eine wünschenswerte vollständige Erfassung des aktuellen Verkehrszustands ist aus technischen und wirtschaftlichen Gründen jedoch nicht möglich. Aus diesem Grund werden stichprobenartig Verkehrskenngrößen bestimmt, die als Eingangsdaten für mathematische Verkehrsmodelle dienen. Ein wichtiges Teilmodell ist dabei die Verkehrsverteilungsschätzung, mit der die Matrix der Verkehrsbeziehungen, d.h. die Größe der Verkehrsströme zwischen festgelegten Gebieten bestimmt wird. Seit den 1970-er Jahren sind mehrere Modelle entwickelt worden, die es ermöglichen, die Verkehrsverteilung auf der Basis von automatischen Querschnittszählungen zu schätzen bzw. bestehende Matrizen der Herkunft-/ Zielbeziehungen auf diese Weise hochzurechnen (siehe Van Zuylen 1978, [1]; Willumsen 1980, [2]; Van Zuylen 1981, [3]; Helinga 1994, [4]; Cascetta 1984, [5]; Bell und Shield 1995, [6]).

Mit herkömmlichen automatischen Erfassungseinrichtungen werden fahstreifenbezogene Verkehrsstärken unter anderem auch von Abbiegeströmen erfasst. Dabei kann man grundsätzlich davon ausgehen, dass mit der Dichte der Netzaufdeckung mit Zählwerten die Qualität der Verkehrsverteilungsschätzung steigt. Liegen jedoch Werte aus vielen Zählstellen und

insbesondere von Abbiegeströmen vor, ergeben sich zunehmend auch redundante Informationen.

Damit stellt sich die Frage, welchen Einfluss die Kenntnis von Abbiegeströmen und daraus folgende redundante Informationen auf die Matrixschätzung haben, wie mögliche negative Effekte auf die Güte der Schätzung bei bestehenden Erfassungsstellen vermieden werden können und wie eine optimale Anordnung von Erfassungsstellen erreicht werden kann.

## 2 Verbessertes Informations-Minimierungs-Modell

Van Zuylen [3] erkannte 1981 bei der Anwendung des Informations-Minimierungs-Modells (IM-Modell) negative Einflüsse redundanter Information auf die Qualität der Matrixschätzung und entwickelte vor diesem Hintergrund ein verbessertes Informations-Minimierungs-Modell (VIM-Modell). Durch die Veränderung der Modellannahme, bei der im VIM-Modell im Gegensatz zum IM-Modell nicht mehr die Permutationen der einzelnen Fahrten an Kanten sondern auf der gesamten Verkehrsbeziehung betrachtet werden, gelang es van Zuylen negative Einflüsse durch Redundanz zu vermeiden. So kann das VIM-Modell in seiner Untersuchung mit präzisen Verkehrsinformationen und Verkehrszählungen an Strecken eine präzise Schätzgüte liefern. Das IM- und das VIM-Modell sind jeweils im Folgenden dargestellt. Die mathematische Form des Informations-Minimierungs-Modells ist.

$$f_{ij} = f_{ij}^o \prod_a x^a \frac{p_{ij}^a}{g_{IM,ij}}, \quad g_{IM,ij} = \sum_a p_{ij}^a \quad (1)$$

unter der Nebenbedingung

$$\bar{q}^a = \sum_{ij} p_{ij}^a \cdot f_{ij}, \quad (2)$$

- mit  $f_{ij}$  gesuchte Anzahl an Fahrten von Quellbezirk i zum Zielbezirk j;  
 $f_{ij}^o$  historische Anzahl an Fahrten von Quellbezirk i zum Zielbezirk j;  
 $p_{ij}^a$  Anteil des Stroms der Verkehrsbeziehung von Quellbezirk i zum Zielbezirk j über Kante a (Aufteilungsparameter);  
 $x^a$  Proportionalitätsparameter der Kante a.

Im Vergleich dazu lautet das verbesserte Informations-Minimierungs-Modell

$$f_{ij} = f_{ij}^o \cdot x_o \cdot \prod_a x^a p_{ij}^a \quad (3)$$

$$\text{mit } x_o = \frac{\sum_{ij} f_{ij}}{\sum_{ij} f_{ij}^o} \quad (4)$$

unter der Nebenbedingung

$$\bar{q}^a = \sum_{ij} p_{ij}^a \cdot f_{ij}. \quad (2)$$

Der Parameter  $x_o$  dient der Änderung des Verhältnisses zwischen der Gesamtzahl der historischen Matrix und der Ist-Matrix. Bei Erfüllung der Randbedingungen nach Gleichung (2) können  $x_o$ ,  $x^a$  und die wahrscheinlichste Matrix unter Einhaltung der Randbedingungen durch einen iterativen Prozess abgeleitet werden.

Die Untersuchung von van Zuylen wies auf, dass im IM-Modell eine Störung durch Übergewichtung auftritt und sich die Schätzgüte dann ändert, wenn redundante Informationen, die sich auf teilweise doppelte Informationen an Kanten beziehen, vorhanden sind. Diese Störung durch Übergewichtung entsteht dadurch, dass redundante Informationen, das heißt die Routenwahlparameter  $p_{ij}^a$ , an den gemessenen Kanten wegen des Potenzterms ( $p_{ij}^a / g_{IM,ij}$ ) mehr Beiträge zur Schätzung einer Matrix leisten als die, die nicht redundant sind. Beim verbesserten Informations-Minimierungs-Modell besteht dieses Übergewichtungsproblem nicht mehr, vorausgesetzt die Aufteilungsparameter  $p_{ij}^a$  sind genau. Exakte Kenngrößen für die Routenwahl  $p_{ij}^a$  sind jedoch sehr schwierig zu bestimmen. In der Praxis können die Parameter mit einer historischen Matrix durch ein geeignetes Umlegungsmodell lediglich geschätzt werden. Damit ist es auch im VIM-Modell nicht gesichert, dass keine Störungen durch redundante Informationen auftreten.

Durch diese Schätzung der Aufteilungsparameter  $p_{ij}^a$  mit einem geeigneten Routenwahlmodell liegt auch für das IM-Modell die im VIM-Modell nicht erforderliche vollständige Netzabdeckung mit Routeninformationen vor, wodurch vollständige Informationen hinsichtlich der  $p_{ij}^a$  zur Verfügung stehen und auch für dieses Modell das Problem der Übergewichtung gelöst wird. Es bleibt jedoch zu prüfen, welchen Einfluss die Genauigkeit der Routenwahlparameter  $p_{ij}^a$  auf die Schätzgüte in beiden Modellen hat und welche Güte mit beiden Modellen im Vergleich erzielt werden kann, wenn redundante Informationen von vornherein ausgeschlossen werden.

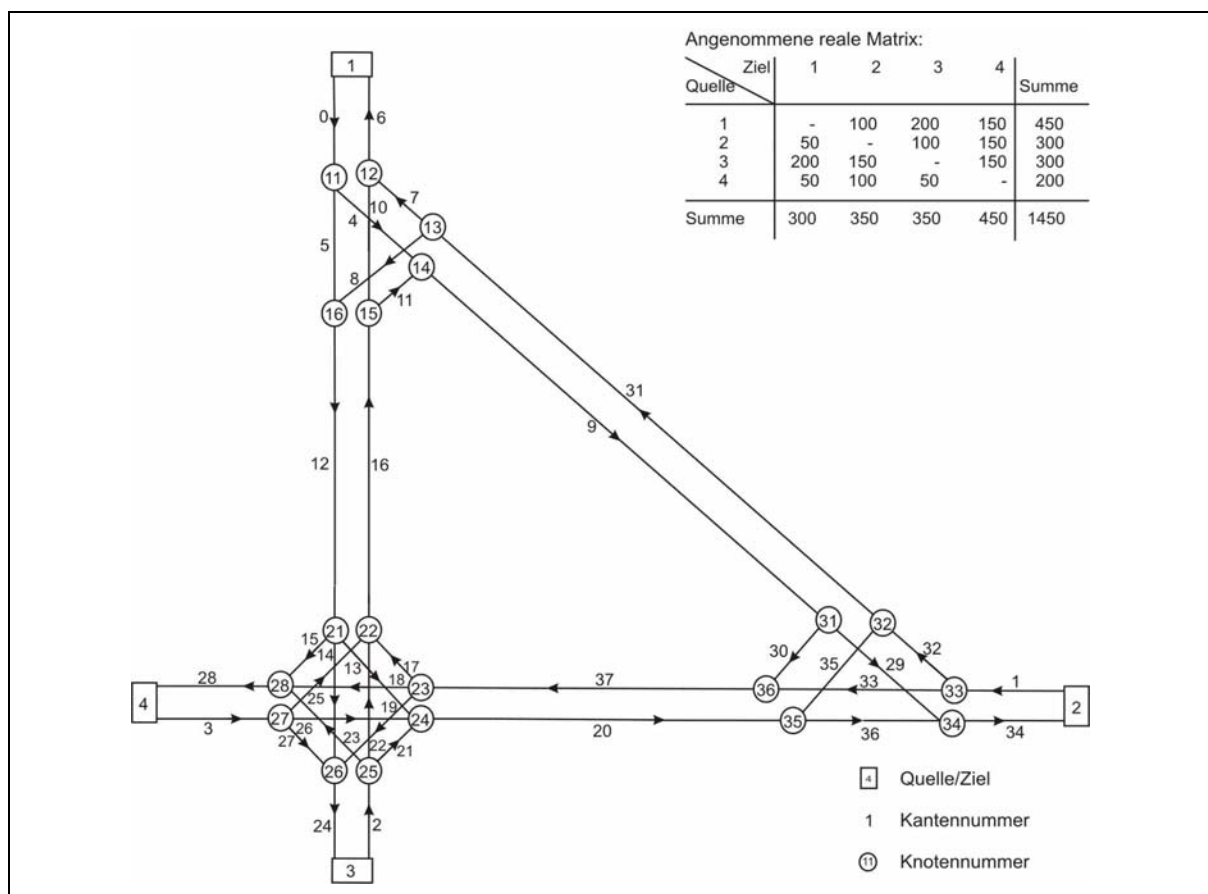
### 3 Einfluss unpräziser und redundanter Informationen

Um die Einflüsse der redundanten Informationen und der Genauigkeit der Informationen von  $p_{ij}^a$  auf das IM- und das VIM-Modell zu analysieren, wird eine Überprüfung anhand von Szenarien in einem virtuellen Dreiecksnetz, das auch in der Arbeit von Matschke u. a. [7] verwendet wurde, durchgeführt. Das in Bild 1 dargestellte Dreiecksnetz besteht aus vier Bezirken und 37 Kanten und beinhaltet insgesamt 1.450 Fahrten. Die Reisezeit an jeder Kante ändert sich anhand der gegebenen Widerstands-Funktion und der Kantenbelastung. Hypothetisch exakte Routenwahlinformationen  $p_{ij}^a$  werden von der angenommenen Matrix der Verkehrsnachfrage ausgehend sukzessiv manuell als quasi-reale Referenzwerte erzeugt. In der Folge sind auch alle Kantenbelastungen bekannt. Um nun den Anwendungsfall nachzuempfinden, werden die manuell erzeugten Ausgangsdaten 'versteckt' und lediglich auf eine Auswahl der in der Praxis messbaren Querschnitts- bzw. Fahrstreifenbelastungen zurückgegriffen. Ausgehend von diesen Querschnittsbelastungen wird die Routenwahl und damit die Parameter  $p_{ij}^a$  durch ein Sukzessiv-Umlegungsmodell als Schätzwert erzeugt.

Die Analyse erfolgt nun anhand von fünf Szenarien:

- Szenario „Vollständige Informationen“ (D-S1): In diesem Fall wird die Verkehrsstärke an allen Kanten detektiert.
- Szenario „Streckenbelastungsinformationen“ (D-S2): Sowohl die Verkehrsstärke als auch die Quell- und Zielanbindungen werden nur auf den Streckenkanten und nicht auf den Abbiegekanten detektiert.
- Szenario „Abbiegestrominformationen“ (D-S3): Im Gegensatz zu D-S2 wird die Verkehrsstärke nur an den abbiegenden Kanten detektiert.
- Szenario "Streckenbelastungs- und Abbiegestrominformation" (D-S4): Zusätzlich zur Detektion von Szenario D-S2 wird eine Abbiegebeziehung (Kante 18) erfasst, um die Auswirkung der teilweisen Detektion von Abbiegeströmen auf die Schätzgüte zu untersuchen.
- Szenario „Streckenbelastungsinformationen mit zusätzlichen Informationen der Kanten 17, 21 und 25“ (D-S5): Die Verkehrsstärke wird sowohl an den Streckenkanten (D-S2) als auch an den Abbiegekanten 17, 21 und 25 detektiert.

Um genauere Routenwahl bzw. Informationen von  $p_{ij}^a$  zu bestimmen, kommen die in jedem Szenario gegebenen Verkehrszählungsinformationen als die Kantenkapazitäten bei der Umlegung zur Anwendung. Somit sind die geschätzten Routenwahlparameter  $p_{ij}^a$  in den Szenarien jeweils unterschiedlich. Ferner liegen vollständige  $p_{ij}^a$  Informationen bei beiden Modellen vor, wodurch das von van Zuylen erwähnte Übergewichtungsproblem nicht auftritt.



**Bild 1: Dreiecksnetz**

In Tabelle 1 sind die Bewertungen der Qualität der Matrixschätzung für die einzelnen Szenarien aufgeführt. Hierfür werden der Korrelations-Koeffizient (KK), die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (WMQF) und die Wurzel aus dem mittleren gewichteten quadratischen Fehler (WMGQF) betrachtet. Das Ergebnis zeigt, je mehr Informationen vorhanden sind, desto besser ist die Schätzgüte. Mit vollständigen präzisen Informationen hinsichtlich Routenwahl kann die Matrix mit den beiden Modellen nachgebildet werden. Anhand des Vergleiches zwischen den Szenarien D-S2 und D-S4 wird ersichtlich, dass die Schätzgüte mit wenigen zusätzlichen Informationen auf den Abbiegekanten deutlich verbessert wird, da die genaueren Nebenbedingungen zu Verfügung stehen.

Eine Störung durch redundante Informationen von Abbiegeströmen besteht weder beim IM-Modell noch beim VIM-Modell, wenn alle Informationen der  $p_{ij}^a$  zu 100 Prozent richtig sind.

Daher wird die Matrix in den Szenarien D-S1 und D-S3 der Tabellen 1 und 2 exakt wiederhergestellt. Bei unvollständiger Detektion bietet das IM-Modell in den Szenarien D-S2, D-S4 und D-S5 genauere Ergebnisse als das VIM-Modell.

Szenarien	Exakte $p_{ij}^a$			Geschätzte $p_{ij}^a$		
	KK	WMQF	WMGQF	KK	WMQF	WMGQF
D-S1 „Vollständige Informationen“	1,0000	0,0000	0,0000	0,9985	3,4555	0,0315
D-S2 „Streckenbelastungsinformationen“	0,9187	20,4880	0,1790	0,9115	21,8133	0,1915
D-S3 „Abbiegestrominformationen“	1,0000	0,0000	0,0000	0,9921	8,1165	0,0815
D-S4 „D-S2 mit zusätzlichen Informationen von Kante 18“	0,9599	14,5379	0,1335	0,9421	17,7550	0,1600
D-S5 „D-S2 mit zusätzlichen Informationen von Kanten 17, 21 und 25“	0,9553	15,3365	0,1169	0,9446	17,4663	0,1338

**Tabelle 1: Bewertung der Auswirkung redundanter Informationen auf die Matrixschätzung bei Anwendung des IM-Modells am Dreiecksnetz**

Szenarien	Exakte $p_{ij}^a$			Geschätzte $p_{ij}^a$		
	KK	WMQF	WMGQF	KK	WMQF	WMGQF
D-S1 „Vollständige Informationen“	1,0000	0,0000	0,0000	0,9978	3,7587	0,0358
D-S2 „Streckenbelastungsinformationen“	0,9157	20,8421	0,1738	0,8971	23,7095	0,1936
D-S3 „Abbiegestrominformationen“	1,0000	0,0000	0,0000	0,9884	8,7637	0,0868
D-S4 „D-S2 mit zusätzlichen Informationen von Kante 18“	0,9499	16,2229	0,1444	0,9002	23,3569	0,1911
D-S5 „D-S2 mit zusätzlichen Informationen von Kanten 17, 21 und 25“	0,9410	17,5559	0,1389	0,9236	20,7225	0,1561

**Tabelle 2: Bewertung der Auswirkung redundanter Informationen auf die Matrixschätzung bei Anwendung des VIM-Modells am Dreiecksnetz**

Insbesondere ist die Schätzgüte des VIM-Modells in allen Szenarien schlechter als die des IM-Modells, wenn Schätzfehler bezüglich der  $p_{ij}^a$  bestehen. Dies ist dadurch bedingt, dass sich der Schätzfehler der  $p_{ij}^a$  in der  $p_{ij}^a$ -ten Potenz von  $x^a$  kumuliert, aber nicht in der

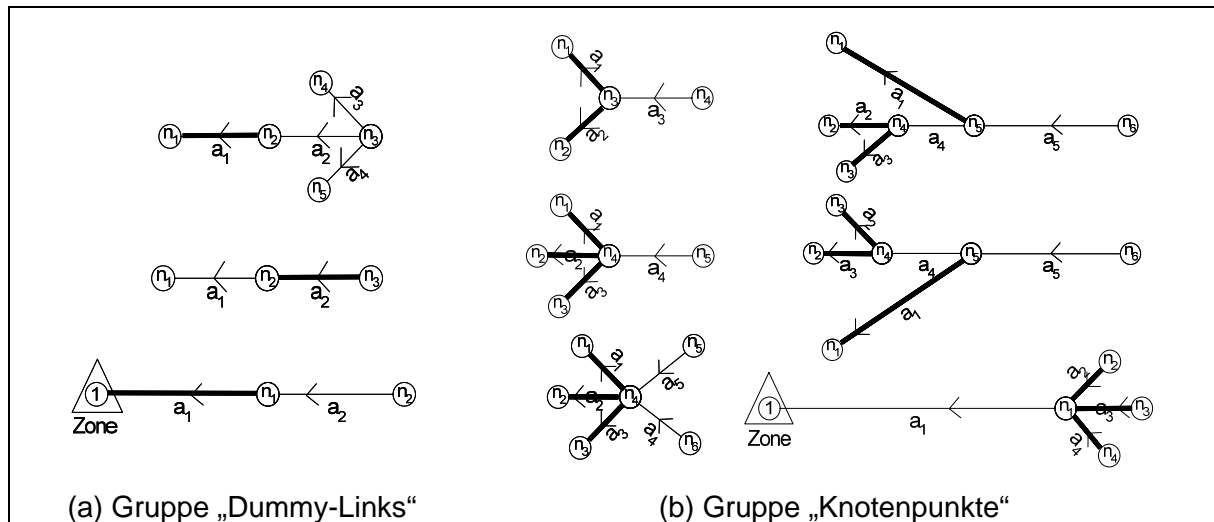
$p_{ij}^a / g_{IM,ij}$ -ten Potenz von  $x^a$ . Demnach hat ein Schätzfehler der  $p_{ij}^a$  im VIM-Modell eine größere Wirkung auf die Schätzgüte als im IM-Modell.

Anhand der Analyse unterschiedlicher Szenarien konnte dargestellt werden, dass das VIM-Modell durch redundante Informationen nicht beeinflusst wird. Dieses Ergebnis steht mit der Aussage von van Zuylen in Einklang, jedoch unter der Voraussetzung präziser Informationen von  $p_{ij}^a$ . Zugleich liefert das IM-Modell dasselbe Ergebnis, wenn vollständige und exakte Informationen hinsichtlich der  $p_{ij}^a$  vorliegen. Mit den Schätzfehlern der  $p_{ij}^a$  verschlechtert sich die Schätzgüte des VIM-Modells und Auswirkung redundanter Informationen auf die Schätzgüte wird ersichtlich. Damit wird deutlich, dass das IM-Modell eine bessere Schätzgüte liefert, wenn Routenwahlinformationen  $p_{ij}^a$  für alle Kanten vorliegen. Im Vergleich dazu setzt das VIM-Modell genauere Informationen der  $p_{ij}^a$  voraus.

Aufgrund dieser Erkenntnisse, die zeigen, dass das IM-Modell unter den für die praktische Anwendung realistischen Randbedingungen ungenauer Routenwahlinformation die besseren Ergebnisse liefert, erscheint es sinnvoll, für die Matrixschätzung dieses Modell zu verwenden und zuvor redundante Informationen aus dem Netz zu eliminieren.

#### **4 Methode der Elimination redundanter Informationen (MERI)**

In der Regel können redundante Informationen durch numerische Methoden, wie zum Beispiel die Gauss'sche Methode, eliminiert werden, wenn nur Verkehrsstärken an zuführenden Kanten beziehungsweise Streckenbelastungen zur Verfügung stehen. Sind Abbiegestrominformationen verfügbar, sind numerische Methoden zur Elimination redundanter Informationen nicht geeignet. Demzufolge wurde ein Verfahren zur Elimination redundanter Informationen entwickelt. Da redundante Informationen aus dem linearen Verhältnis zwischen Kanten bestehen, basiert dieses Verfahren grundsätzlich auf der Analyse der Struktur des Untersuchungsnetzes. Dementsprechend wird das in ein Knoten-Kanten-Modell umgewandelte Untersuchungsnetz in die zwei Gruppen „Dummy-Links“ und „Knotenpunkte“ unterteilt, die im Bild 2 dargestellt sind. Dabei beinhaltet die Gruppe „Dummy-Links“ die Kanten, auf denen die Informationen vollständig identisch mit denen auf ihren Nachbarkanten sind, wie z.B. die im Bild 2(a) in Fett dargestellten Kanten. Solche Kanten werden für eine realitätsnahe Netzdarstellung oder eine präzise Detektorstandortdarstellung verwendet. Die Gruppe „Knotenpunkte“ beinhaltet die Knoten, die an abbiegenden und zuführenden Kanten anschließen. Gruppengemäß wird die Information auf jeder Kante bezüglich des Vorhandenseins der entsprechenden Verkehrsstärke, die als Nebenbedingung in das IM-Modell eingeht, überprüft. Prinzipiell werden die Kanten, auf denen die Verkehrsstärke gemessen wird, bevorzugt behandelt. Die Informationen auf den abbiegenden Kanten, wie z.B. die im Bild 2(b) in Fett gezeichneten Kanten, werden belassen, wenn entsprechende Verkehrszählungen bestehen. Kanten mit redundanter Information werden im IM-Modell in der Folge nicht berücksichtigt. Ferner werden die Verkehrsstärkeinformationen auf den redundanten Kanten als entsprechende Informationen auf den Nachbarkanten übernommen, wenn dort keine Informationen vorhanden sind.



**Bild 2: Strukturunterteilung in einem Untersuchungsnetz**

Um einen Informationsverlust zu vermeiden, werden zuerst alle Informationen auf den Dummy-Links entfernt. Danach werden redundante Informationen zwischen den Abbiegeströmen und den zuführenden Kanten eliminiert.

## 5 Bewertung des entwickelten Schätzverfahrens

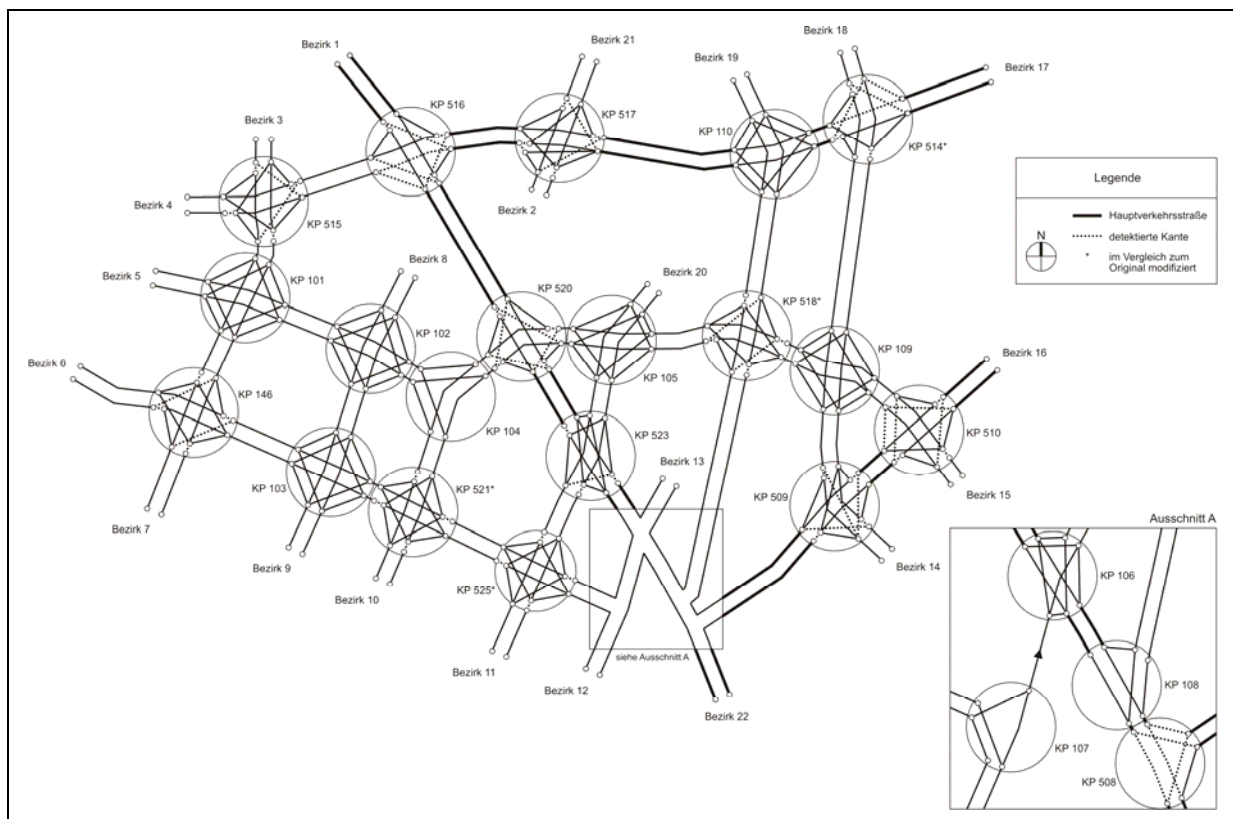
Die Untersuchungen an dem oben erwähnten Dreiecksnetz in Tabelle 3 zeigen, dass mit der geschätzten Anteilsmatrix in allen Szenarien bessere Ergebnisse mit dem IM-MERI-Modell erzielt werden können als mit dem VIM-Modell. Da das Netz klein ist, ist der Korrelationskoeffizient in allen Szenarien größer als 0,90. Die Ergebnisse zeigen, je mehr Informationen zur Verfügung stehen, desto besser ist die Schätzgüte. Es zeigt sich, dass sich die Schätzfehler der Anteilsmatrix (Routenwahl) deutlich auf die Schätzgüte auswirken, auch wenn viele Detektionsdaten vorhanden sind. Daher ist die Schätzgüte in Szenario D-S5 schlechter als die in Szenario D-S4. Es wird auch ersichtlich, dass ein Unterschied in der Wichtigkeit der Informationen besteht. So ist der Schätzgüteunterschied zwischen den Szenarien D-S2 und D-S4 bei dem IM-MERI-Modell deutlich, wobei nur die Informationen an der Kante 18 ergänzt wurden. Der klare Unterschied zwischen den Ergebnissen in den Szenarien D-S1 und D-S3 liegt daran, dass die Kantenkapazitäten durch die Ersetzung mit Verkehrszählungen präziser beschränkt werden.

Szenarien	VIM-Modell			IM-MERI-Modell		
	KK	WMQF	WMGQF	KK	WMQF	WMGQF
D-S1 „Vollständige Informationen“	0,9978	3,7587	0,0358	0,9986	3,1657	0,0292
D-S2 „Streckenbelastungsinformationen“	0,8971	23,7095	0,1936	0,9187	20,5700	0,1782
D-S3 „Abbiegestrominformationen“	0,9884	8,7637	0,0868	0,9921	8,1165	0,0815
D-S4 „D-S2 mit zusätzlichen Informationen von Kante 18“	0,9002	23,3569	0,1911	0,9555	15,3935	0,1435
D-S5 „D-S2 mit zusätzlichen Informationen von Kanten 17, 21 und 25“	0,9236	20,7225	0,1561	0,9489	16,4527	0,1288

**Tabelle 3: Auswirkung von MERI auf die Matrixschätzung am Dreiecksnetz**

Um die Wirkung entwickelter Eliminationsregeln genauer zu bestimmen, wird die entsprechende Bewertung an einem größeren Netz, als Testnetz-List bezeichnet, durchgeführt. Es besteht aus einem realistischen Teilnetz des Stadtteils List von Hannover. Anhand der realen Straßennetzstruktur und der aktuellen Standorte der Detektoren wurde das Testnetz-List in ein Knoten-Kanten-Modell umgewandelt. Dabei wurden lediglich die Hauptverkehrsstraßen und die wichtigsten Sammelstraßen abgebildet und einige kleine Änderungen vorgenommen, um den Anforderungen der Matrixschätzung besser gerecht zu werden. Das modifizierte Netz ist in Bild 2 dargestellt, wobei die Knotenpunkte aufgelöst wurden, um die in der Realität detektierten Abbiegebeziehungen nachbilden zu können. Insgesamt besteht dieses Netz aus 22 Bezirken und 398 Kanten. Davon sind jeweils 22 Kanten Quell- oder Zielanbindungen und von den verbleibenden Kanten wird die Verkehrsstärke auf 79 Kanten, die als strichpunktierte Linien in Bild 2 dargestellt sind, detektiert.

Die zugrunde liegende Matrix wurde von der 24h-Gesamtmatrix der Stadt Hannover herausgeschnitten und überarbeitet. Um das Netz realitätsnah zu gestalten, wurden einige Bezirke ergänzt und die Verkehrsstärke auf einzelnen Relationen erhöht. Daher können realistische Verhältnisse widerspiegelt werden. Die ermittelte Ausgangsmatrix umfasst rund 58.000 Fahrten am Tag. Im Gegensatz zum zuvor genannten Dreiecksnetz wurden im Testnetz-List reale Informationen über die Kantenbelastungen verwendet. Um die Leistungsfähigkeit des IM-MERI- und des VIM-Modells zu prüfen und zu vergleichen, wurden anhand einer Sukzessivumlegung mit zehn Umlegungsscheiben die Kantenbelastungen bestimmt.



**Bild 3: Testnetz-List**



Die analysierten Szenarien sind folgende:

- Szenario „Vollständige Informationen“ (L-S1): In diesem Fall liegen die Informationen über Verkehrsstärken an allen Kanten vor, so dass Informationen an 398 Kanten verfügbar sind.
- Szenario „Streckenbelastungsinformationen“ (L-S2): Die Verkehrsstärke wird in diesem Fall nur an den Streckenkanten detektiert. Es stehen auch die Informationen des Quell- und des Zielverkehrs zur Verfügung. Insgesamt sind 154 Verkehrsstärkeinformationen vorhanden.
- Szenario „Abbiegestrominformationen“ (L-S3): Die Verkehrsstärke wird hierbei nur an den abbiegenden Kanten erfasst. Somit stehen die Verkehrsstärkeinformationen an 228 Kanten zur Verfügung.
- Szenario „Kantenbelastungsinformationen auf den mit Detektoren ausgerüsteten Kanten“ (L-S4): Die Verkehrsstärke wird auf 79 Kanten, die in der Realität mit einem Detektor ausgerüstet sind, detektiert. Mit den Informationen des Quell- und des Zielverkehrs sind 121 Verkehrsstärkeinformationen vorhanden.

Die Ergebnisse aller Szenarien, in Tabelle 4 dargestellt, bestätigen die Aussagen vom Dreiecksnetz, dass das IM-MERI-Modell präzisere Schätzergebnisse als das VIM-Modell liefert. Da dieses Netz größer als das Dreiecksnetz ist, ist die Schätzgüte deutlich schlechter als die am Dreiecksnetz. Beim VIM-Modell ist der Korrelationskoeffizient (KK) in allen Fällen größer als 0,86 und steigt auf 0,90 an, wenn zusätzlich Abbiegestrominformationen vorhanden sind, wie in den Szenarien L-S1, L-S3 und L-S4. Im Vergleich dazu ist der Korrelationskoeffizient beim mit MERI erweiterten IM-Modell höher als 0,88 und steigt mit zunehmenden Informationen auf 0,92 an. Außerdem zeigen die Untersuchungen, dass die Schätzgüte bei alleiniger Verwendung von Abbiegeströmen besser ist, als wenn nur Kantenbelastungen verwendet werden. Es kann aber auch eine hohe Schätzgüte erreicht werden, wenn nur teilweise Abbiegeströme und Kantenbelastungen berücksichtigt werden, wie zum Beispiel in Szenario L-S4. Weiterhin ist in den Szenarien L-S1 und L-S3 erkennbar, dass die Auswirkung redundanter Informationen durch die entwickelte Eliminationsmethode MERI beseitigt wird.

Szenarien	VIM-Modell			IM-MERI-Modell		
	KK	WMQF	WMGQF	KK	WMQF	WMGQF
L-S1	0,9043	289,8568	1,3951	0,9257	255,4774	1,2351
L-S2	0,8617	356,4794	2,0567	0,8857	314,9563	2,2859
L-S3	0,9020	294,8788	1,3105	0,9257	255,4774	1,2351
L-S4	0,9046	294,3172	1,4195	0,9234	258,8290	1,5599

**Tabelle 4: Auswirkung von MERI auf die Matrixschätzung am Testnetz-List**

## 6 Fazit

Mit den zunehmenden Möglichkeiten der automatischen Verkehrsdatenerfassung stellt sich die Frage, welchen Einfluss die Kenntnis von Abbiegeströmen und daraus folgende redundante Informationen auf die Schätzung von Herkunft-/ Zielbeziehungen haben, wie mögliche

negative Effekte auf die Güte der Schätzung bei bestehenden Erfassungsstellen vermieden werden können und wie eine optimale Anordnung von Erfassungsstellen erreicht werden kann.

Deshalb wurde in dieser Arbeit vor allem der Einfluss redundanter Informationen analysiert. In der Untersuchung wurde dem Einfluss ungenauer Kenntnis der Routenwahl Rechnung getragen, um einen realitätsnahen Zustand widerzuspiegeln. Sowohl am kleinen Dreiecksnetz als auch am größeren Testnetz-List konnte gezeigt werden, dass sich die Schätzgüte deutlich mit der Anwendung der Abbiegestrominformationen verbessert. Weiterhin liefert das IM-Modell mit ungenauer Anteilsmatrix und redundanten Informationen eine bessere Schätzgüte als das VIM-Modell. Da beide Modelle jedoch Schwierigkeiten haben, mit redundanten Informationen umzugehen, wurde ein geeignetes Eliminationsverfahren entwickelt. Es wurde nachgewiesen, dass die Auswirkung redundanter Informationen im IM-Modell durch MERI beseitigt werden konnte und die Schätzgüte besser als die des VIM-Modells ist.

## 7 Literatur

- [1] WILLUMSEN, L. G. (1978). Estimation of an O-D matrix from traffic counts - a review. Leeds, Institute for Transport Studies, University of Leeds.
- [2] WILLUMSEN, L. G. (1981). An entropy Maximising Model for Estimating Trip Matrices from Traffic Counts. Dissertation, Department of Civil Engineering. Leeds, England.
- [3] VAN ZUYLEN, H. J. (1981). Some improvement in the estimation of an OD matrix from traffic counts. Proceedings of the 8th international symposium on transportation and traffic theory. Toronto, Canada, University of Toronto Press, Toronto.
- [4] HELLINGA, B. R. (1994). Estimating dynamic origin-destination demands from link and probe counts. Dissertation, Department of Civil Engineering. Kingston, Ontario, Canada, Queen's University.
- [5] CASCETTA, E. (1984). Estimation of Trip Matrices from Traffic Counts and Survey Data - a Generalized Least-Squares Estimator. Transportation Research Part B-Methodological 18, S. 289-299.
- [6] BELL, M. G. H.; SHIELD, C. M. (1995). A log-linear model for path flow estimation. Proceedings of 4th International Conference on the Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering, Capri, Italy, American Society of Civil Engineers.
- [7] MATSCHKE, I.; HEINIG, K.; FRIEDRICH, B. (2004). Data Completion for Improved OD-Estimation. Proc. of the 12th International Conference on Road Transport Information and Control. London, UK.